

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Evaluación de la Productividad Maderable de dos Especies de *Pinus* en  
Reforestaciones de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca.

Por:

**MANUEL HERRERA SANTIAGO**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Evaluación de la Productividad Maderable de Dos Especies de *Pinus* en  
Reforestaciones de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca.

Por:


**MANUEL HERRERA SANTIAGO**


Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

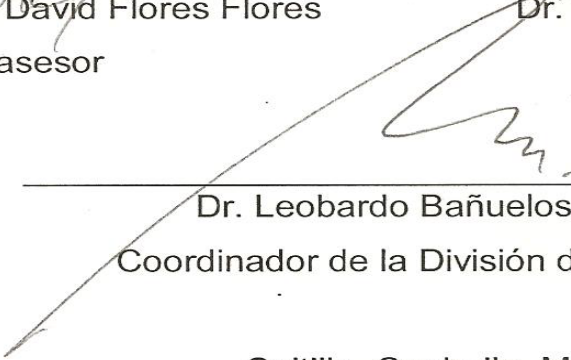
**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada:

  
M.C. Celestino Flores López  
Asesor Principal

  
M.C. Jorge David Flores Flores  
Coasesor

  
Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga  
Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Mayo del 2012

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No.02-03-0207-2192, a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López además del apoyo recibido por la comunidad de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca.

## AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO a mi *Alma Terra Mater* que me abrió las puertas y me brindo diversas bondades para realizar mi sueño de ser un profesionista.

A cada uno de los profesores del departamento Forestal de la UAAAN por transmitirme sus conocimientos y hacer de mí un buen profesionista.

Al M.C. Celestino Flores López por la asesoría, paciencia y disponibilidad brindada para que este trabajo se pudiese haber realizado, por su incondicional amistad como catedrático y amigo.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga por su colaboración en la revisión de la presente tesis así como por sus aportaciones.

Al M.C. Jorge David Flores Flores por su valiosa participación en la revisión de este trabajo de tesis y por sus comentarios.

A la comunidad de La Trinidad, Ixtlán por el apoyo incondicional para la realización de este trabajo de investigación.

A la Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la sierra Juárez de R.I. por el apoyo brindado en la realización del presente estudio.

A mis amigos de la UZACHI al Ing. Eusebio, Ing. Martín, Marco Antonio, Bióloga Lucina, Gabita, Karla Renata, Abel, Cándido, Fabián y Víctor por su apoyo y consejos durante la realización de mi semestre de campo y de mi tesis.

A mis compañeros y amigos de estudio Leonardo y Maybeth que me apoyaron en la etapa de recolección de datos en campo para que este trabajo de tesis se realizara. Así como a Abel técnico comunitario de la Trinidad a Miguel y Julio alumnos del CBTa 109 por su valiosa participación en esta la etapa de campo.

## DEDICATORIA

A Dios padre por haberme dado derecho de vivir esta vida, por darme la paciencia, el conocimiento y por llevarme siempre por el camino correcto cuando estuve lejos de mi hogar.

A mis padres Araceli y Manuel por darme el apoyo moral y económico para seguir adelante y cumplir mis metas, por haberme dado la vida y todo su amor, por ser los mejores padres que me pudiese haber dado Dios inculcándome siempre buenos principios, dándome buenos ejemplos para ser un hombre de bien.

A mi hermano Fredy por todo su amor y comprensiones para que yo continuara adelante, por compartir los malos y buenos momentos que hemos vivido.

A mi abuelita Enriqueta por su apoyo incondicional durante mi carrera.

A mis tíos y tías Oscar, Arcadio, Paul, Rodrigo, Ezequiel, Adelina, Lucia, Maribel, María, Graciela, Paulina y Raquel, por sus palabras de aliento y sus consejos que me motivaron seguir adelante.

A todos mis primos y primas Eduardo, Karin, Lizbeth, Jesús, Ulises, Iván, Miguel, Elayne, Edilma, Lupita, Karla, Andrea, Dulce, Paulina, Cristian, Yuri, Paola, Vilma, Mavel, Montse, Nancy a todos ellos por su incondicional apoyo moral y todos sus palabras de aliento.

A todos mis amigos que siempre confiaron y creyeron en mí, que siempre me tendieron la mano cuando los necesite.

A todos mis compañeros de la generación 2007-2012 por compartir conmigo tristezas y alegrías, desilusiones y triunfos, en especial a Bartolomé, Javier, Andrés, Leonardo, Adrian, Edilberto, Gualberto, Maybeth, Angelina, Inocencia, Ángela, Flor, Luis Miguel, Ebert, Rusbeli, Aristeo, Francisco, Martín, Alfredo, Marco, Pedro, Horacio, Rodolfo, Verónica.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general... ..	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1 Descripción de las especies forestales utilizadas en el área de estudio.....	5
2.2 Plantaciones forestales en el mundo.....	6
2.3 Plantaciones forestales en México.....	7
2.4 Plantaciones forestales en Oaxaca.....	9
2.5 Importancia de las parcelas permanentes .....	10
2.6 Importancia del crecimiento y rendimiento en plantaciones forestales .....	10
2.7 Modelos de crecimiento en plantaciones forestales .....	11
2.8 Índice de sitio.....	13
2.9 Trabajos afines.....	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Localización.....	16
3.2 Descripción del área de estudio.....	16
3.2.1 Clima .....	16
3.2.2 Fisiografía .....	18
3.2.3 Edafología.....	18
3.2.4 Hidrología.....	18
3.2.5 Flora.....	18
3.2.6 Fauna.....	19
3.3 Antecedentes de las plantaciones.....	19
3.4 Evaluación de las plantaciones de <i>Pinus</i> .....	20
3.4.1 Diseño de muestreo.....	20

3.4.2	Intensidad de muestreo.....	21
3.4.3	Forma y tamaño de las parcelas permanentes .....	21
3.4.4	Tamaño de las parcelas permanentes.....	21
3.4.5	Variables evaluadas.....	22
3.5	Modelos de crecimiento.....	22
3.5.1	Crecimiento en diámetro y altura.....	22
3.6	Determinación de la calidad de sitio .....	22
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1	Crecimiento en diámetro y altura.....	25
4.1.1	Crecimiento en diámetro promedio para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.....	25
4.1.2	Crecimiento en altura promedio para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.....	26
4.1.3	Crecimiento en altura dominante para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. var. <i>longipedunculata</i> y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.....	27
4.2	Incremento en diámetro y altura.....	29
4.2.1	Incremento en diámetro y altura promedio para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>Longipedunculata</i> .....	29
4.2.2	Incremento en diámetro y altura promedio para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	30
4.3	Calidad de sitio.....	32
5	CONCLUSIONES .....	36
6	RECOMENDACIONES .....	37
7	LITERATURA CITADA .....	38
	APÉNDICE.....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro y altura para <i>Pinus patula</i> Schlecht. et Cham. y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	23
Cuadro 2. Determinación del coeficiente de proporcionalidad para la creación de las curvas anamórficas.....	33
Cuadro 3 Valores para cada calidad de estación a una edad base de veintiún años.....	34



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de la localización de los sitios de muestreo establecidos en plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.....	17
Figura 2. Curva de crecimiento de edad-diámetro promedio para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.....	26
Figura. 3. Curvas de crecimiento de edad-altura promedio para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.....	28
Figura. 4. Curvas de crecimiento de edad-altura dominante para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. var. <i>longipedunculata</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.....	28
Figura. 5. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro promedio para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca .....	29
Figura. 6. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro promedio para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.....	30
Figura 7. Curva guía de altura dominante determinada mediante el ajuste del modelo de Chapman-Richards.....	32
Figura 8. Curvas anamórficas de índice de sitio para, <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. var. <i>longipedunculata</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. (edad base= 21 años) en plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.....	35

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estimar el crecimiento y la productividad en reforestaciones mixtas de *Pinus patula* var. *longipedunculata* y *Pinus pseudostrobus* establecidas en predios comunales de La Trinidad, municipio de Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca establecidas en diferentes años por comuneros de la población.

Se establecieron trece parcelas permanentes de muestreo (PPM) de forma circular de 500 m<sup>2</sup>, para la distribución de éstas se utilizó un muestreo aleatorio con una intensidad del 3%. Se estimó el crecimiento en diámetro promedio, altura promedio y altura dominante utilizando los modelos de Schumacher modificado o modelo de Korf, Chapman-Richards y Weibull, para la elección del mejor modelo se compararon los estadísticos del cuadrado medio del error (CME) y el coeficiente de determinación  $R^2$  y  $R^2_{adj}$ . Se determinó el Índice de sitio (IS) utilizando la variable de altura dominante ajustada por el modelo de Chapman-Richards, empleo la metodología de la curva guía para generar un sistema de curvas anamórficas de IS.

El modelo de Weibull tuvo mejor ajuste para las variables de diámetro y altura para ambas especies. Las curvas de crecimiento e incremento de diámetro y altura presentan un comportamiento ascendente casi lineal. A 21 años de edad *Pinus patula* presentó mayor crecimiento e incremento con respecto a *Pinus pseudostrobus*. Se construyeron cinco curvas de índice de sitio a una equidistancia de 3 m con una edad base de 21 años.

Palabras claves: índice de sitio, modelos de crecimiento, *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *Pinus Pseudostrobus*, plantaciones.

## ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the growth and productivity in mixed reforestation of *Pinus patula* var. *longipedunculata* and *Pinus pseudostrobus* established in communal lands of La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlan, Oaxaca in different years by community members.

Thirteen permanent sample plots (PPM) were established of circular shape of 500 m<sup>2</sup>, for the distribution of these plots was used a random sampling with an intensity of 3%. We estimated the growth in average diameter, average height and dominant height using the models modified Schumacher or model Korf, Chapman-Richards and Weibull, for selecting the best statistical model were compared the mean square error (MSE), the determination coefficient  $R^2$  and  $R^2_{adj}$ . We determined the site index (SI) using the dominant height variable adjusted by the Chapman-Richards model; to generate a system of anamorphic curves of SI, the methodology of the guide curve was used.

The Weibull model was best fit for the variables of diameter and height for both species. Growth curves and increased diameter and height have a nearly linear ascending behavior. At 21-year-old *Pinus patula* showed higher growth and increase compared to *Pinus pseudostrobus*. Five site index curves were constructed at an equidistance of 3 m with a base age of 21.

Keywords: site index, growth models, *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *Pinus pseudostrobus*, plantations.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales son aquellas formaciones forestales plantadas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación con especies que pueden ser introducidas o nativas que cumplan con los siguientes requisitos: superficie mínima de media hectárea, una cubierta de copa de al menos 10 % de la superficie del terreno y una altura total de los árboles adultos por encima de los cinco metros (Trujillo, 2003). Otros autores definen a una plantación forestal al establecimiento de árboles que conforman una área boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, entre otras funciones (FAO, 2002).

Con las plantaciones forestales se busca potencializar las áreas que ya no tienen uso agrícola o pecuario afín de ampliar la frontera silvícola, para que de esta forma los productores y dueños de terrenos forestales aprovechen sus recursos naturales de forma sustentable y les permita ser un mecanismo para combatir la pobreza, e incrementar y volver a recuperar sus recursos forestal (Semarnat, 2006).

Es importante saber que en nuestro país el 77% de la superficie forestal total es considerada con potencial para la producción de madera y productos forestales no madereros, y el 22% requiere de algún tipo de restauración, se estima que el área con potencial productivo sostenible es de 22 millones de hectáreas, de las cuales 11 millones corresponden a bosques de coníferas y latifoliadas, 7 millones son de selvas altas y medianas, 4 millones son de latifoliadas de clima templado. Con la finalidad de resolver problemas de deterioro y satisfacer demandas de productos forestales en 1997 se inició la asignación de apoyos para establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales, a través del Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (Gutiérrez, 1989; FAO, 2000).

Dentro de nuestro país el estado de Oaxaca es uno de los productores forestales más importantes, cuenta con una superficie total de 9.4 millones de hectáreas de este total 6.3 millones de hectáreas son de carácter forestal de las cuales 6.1 millones se conforman de bosques y selvas. Gracias a la gran diversidad de recursos naturales con los que cuenta este estado diversas empresas optaron por asentarse en los lugares más ricos en cuestión de productos forestales tal es el caso de la fábrica de Fapatux dedicada a la producción de celulosa para papel, esta empresa se estableció en el año de 1968 comprando primeramente materia prima con comunidades la Sierra Juárez y Sierra Miahuatlán-Juquila, debido a la alta demanda de madera que esta industria requería en 1974 se establecieron plantaciones forestales en el lugar denominado la Sabana municipio de San Juan Cotzocon, Mixe (Caballero, 2000).

Debido a que el gobierno del estado de Oaxaca otorgó concesiones de los recursos naturales a empresas extranjeras las cuales estaban acabando con lo mejor de los bosques, algunas de las comunidades de la sierra Juárez se organizaron para deshacer dichas concesiones, al lograr su cometido surge la necesidad de manejar sus recurso, para esto se asocian y deciden formar una unión para poder aprovechar sus recursos y es así como nace en 1989 la Unión de comunidades productoras forestales Zapotecos-Chinantecos de R.I. (UZACHI) la cual tiene como objetivo la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de las comunidades, las actividades que se realizan en esta unión son de asesoría técnica, elaboración de proyectos productivos y de investigaciones, capacitación y acompañamiento.

Por otra parte se tiene registro de que en México, *Pinus patula* var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus* Lind. fueron las primeras especies de coníferas en utilizarse para el establecimiento de plantaciones forestales con finalidad de producción realizadas por las fábricas de Loreto y Peña Pobre. Dichas especies son de crecimiento acelerado, alto rendimiento, y de un alto valor económico, ofrecen una alta calidad en la madera la cual es usada principalmente para la construcciones que requieran resistencia, para postes, durmientes, pilotes, armaduras y vigas, además se emplea para la elaboración de cajas de empaque y para acabados interiores y

exteriores también es muy apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras (Gillespie, 1992; Caballero, 2000; Carrasco, 2010).

Sin embargo para que estas y otras especies puedan desarrollarse de una forma acelerada y con altos rendimientos influirán diferentes factores como son la luz, el agua, los nutrientes, la humedad, la temperatura y otros presentes en el ecosistema, el incremento en estas especies se ve reflejado principalmente en diámetro y altura, el aumento de estas dimensiones en un determinado tiempo lo llamamos productividad la cual hace referencia al potencial de un árbol o de un bosque para producir madera u otro producto, por lo cual es importante evaluar su comportamiento y así poder tener una mayor perspectiva de como poder manejarlos y que este manejo sea el más adecuado (Klepac, 1983).

Por consiguiente las plantaciones forestales requiere del conocimiento cualitativo y cuantitativo de la dinámica y estructura forestal, ya que de esta información es posible planificar un buen manejo de los recursos actuales y futuros, para el monitoreo de las plantaciones forestales las parcelas permanentes de muestro (PPM) resultan ser uno de los instrumentos más eficientes a través de los cuales se puede realizar el monitoreo y recabar información de las plantaciones además de las observaciones obtenidas se puede realizar la construcción de modelos de crecimiento para un conjunto de condiciones dadas (Gadow *et al.*, 2004).

A hora bien, La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán es una comunidad indígena de la sierra norte del estado de Oaxaca que desde el año de 1998 realiza el aprovechamiento de sus bosques de una manera sustentable, cuenta con 805 hectáreas de las cuales 773 hectáreas están bajo aprovechamiento forestal presenta un régimen de la tierra de carácter comunal, para el buen manejo de sus recursos cuenta con una autoridad comunal, un consejo de vigilancia y Unidad Económica Especializada en el Aprovechamiento Forestal, es importante señalar que esta comunidad fue certificada en el año de 1994 bajo los principios del Forest Stewardship Council, con el sello de SmartWood y recertificada en el año 2007 por SmartWood con el código SW-

FM/COC-011 y en el año 2010 recibe la cadena de custodia por la producción de madera certificada (SmartWood, 2002).

Actualmente la comunidad cuenta con poca información sobre el comportamiento y dinámica de sus plantaciones, según las recomendaciones realizadas en el proceso de certificación realizado en el año 2007 en su apartado 3.4 condiciones y recomendaciones especifica que es indispensable el monitoreo, proceso y análisis del comportamiento de sus bosques, para poder realizar dicho monitoreo es fundamental buscar algún método que nos ayude a obtener dicha información, la obtención de los datos antes mencionados es muy importante ya que se tiene programada una recertificación en el año 2012, es así como surge la necesidad de establecer parcelas permanentes de muestreo en reforestaciones de *Pinus patula* y *P. pseudostrobus* como una alternativa para obtener la información que se requiere.

#### 1.1 Objetivo general

Estimar el crecimiento y la productividad en reforestaciones mixtas de *Pinus* establecidas en predios comunales de la comunidad de La Trinidad Ixtlán Oaxaca

#### 1.2 Objetivos específicos

Estimar el crecimiento en diámetro promedio, altura promedio y altura dominante de *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata* y *Pinus pseudostrobus* Lindl., mediante modelos no lineales en reforestaciones mixtas de La Trinidad Ixtlán Oaxaca.

Evaluar la productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata* y *Pinus pseudostrobus* Lindl. mediante la valoración de un índice de sitio utilizando la metodología de curva guía con la creación de curvas anamórficas basado en el crecimiento de altura dominante.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descripción de las especies forestales utilizadas en el área de estudio

*Pinus pseudostrobus* es conocido también como pino blanco, pino chalmaite, pino lacio y pino liso, es un árbol que presenta un fuste recto de 20 a 40 m de altura y de 80 a 100 cm de d.a.p., presenta una corteza gruesa escamosa con placas alargadas y fisuras longitudinales profundas de color café oscuro o café gris, 5 acículas por fascículo de 18 a 20 cm de longitud y de 0.8 a 1.3 mm de ancho, presenta conos solitarios o en pares de forma asimétrica ovoide, cada cono presenta un número de escamas que va de 140 a 190 escamas que abren gradualmente, estas son gruesas y lignificadas, sus semillas son aladas de 5 a 7 mm de largo por 3 a 4.5 mm de ancho, esta especie habita en zonas altas en ecosistemas de pino encino y pinares en altitudes que van de 850 a 3250 msnm (Perry, 1991; Farjón *et al.*, 1997).

*Pinus patula* también es conocido como pino colorado, pino liso y pino triste, esta especie presenta un fuste recto de 35 a 40 m de altura, y de 90 a 100 cm de d.a.p., su corteza es gruesa en el tronco, escamosa placas grandes y alargadas de color gris a café oscuro y en la parte superior del tallo con escamas caedizas de color café rojizo, tiene de 3 a 4 acículas por fascículo de 15 a 25 cm de longitud y de 0.7 a 0.9 mm de ancho, conos solitarios o en verticilos principalmente de dos, presentan una forma ovoide u oblongos de 5 a 10 cm de longitud por 4 a 6.5 cm de ancho de color café amarillento tornándose después a un color gris, sus semillas son de color oscuro de 4 a 6 mm de longitud por 2 a 4 mm de grosor, se desarrolla en climas muy húmedos, subtropical a templado caliente en bosques mixtos o bosques de pino encino lo podemos encontrar en altitudes de 1400 a 3300 msnm (Perry, 1991; Farjón *et al.*, 1997).



## 2.2 Plantaciones forestales en el mundo

La plantación de árboles tiene una importante creciente para satisfacer las necesidades de madera y otros productos de la población mundial que está en constante crecimiento, y para mejorar los niveles de vida, asimismo para contrarrestar la menor disponibilidad de madera y otros productos forestales provenientes de los bosques naturales (Palmborg-Lerche, 1998).

Las primeras plantaciones que surgieron en el mundo fueron a partir de la selección y domesticación de las mejores especies de árboles por su valor alimenticio, utilitario y comercial. Son famosas las plantaciones fallidas de morera de la China en Inglaterra para la producción de seda, a mediados del siglo XIX, se plantó por error morera negra (*Morus nigra* L.) en lugar de morera blanca (*Morus alba* L.) y la de 1.6 millones de ha del “Proyecto Jarí” en la Amazonia brasileña, predominantemente un monocultivo de *Gmelina arborea* Roxb., para la producción de pulpa para papel desarrollada por el excéntrico multimillonario estadounidense Daniel Ludwig en 1967 (Llerena *et al.*, 2007).

Se calcula que el 57% de la superficie de plantaciones forestales están concentradas en países en desarrollo, dichas plantaciones están constituida por especies no coníferas, y el 63% se estableció con fines industriales (las cifras correspondientes para América Latina y el Caribe son 56% y 79%, respectivamente). Casi las tres cuartas partes de estas plantaciones corresponden a la región de Asia-Pacífico, donde predominan la China (21 millones ha) y la India (20 millones ha), mientras que 15% estaban en América Latina y 10% en África %. Por su parte la FAO señala que entre el año 2005 y 2010 la superficie de bosques plantados en el mundo aumentó aproximadamente 5 millones de hectáreas por año, rubro en el que destacan Asia, Europa y América del Norte (Llerena *et al.*, 2007; Conafor, 2010).

Las principales especies de pinos que se cultivan en el mundo pertenecen a especies de crecimiento rápido, como *Pinus radiata* Don., *Pinus patula* Schlecht *et* Cham. y *Pinus caribaea* Morelet. que abarcan el 25% de la superficie de maderas blandas cultivadas para uso industrial en el mundo, mientras que los pinos de

crecimiento más lento son *Pinus massoniana* Lamb., *Pinus kesiya* Royle ex Gordon., *Pinus roxburghii* Sargent., *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus wallichiana* A.B.Jacks., constituyen alrededor del 36 % (Palmberg-Lerche, 1998).

Cabe mencionar que en América latina y el Caribe hay una necesidad urgente de aumentar la superficie de plantaciones, con el fin de ayudar a satisfacer las necesidades productivas, protectoras y ambientales en el plano local, nacional, regional y mundial. Sobre todo, existe la necesidad de asegurar que las plantaciones se establezcan considerando objetivos específicos bien planteados, utilizando material reproductivo bien comprobado y de alta calidad, y que ellas sean cuidadas, protegidas, manejadas, e inventariadas regularmente (Palmberg-Lerche, 1998).

### 2.3 Plantaciones forestales en México

México tiene raíces muy profundas en materia de reforestación prueba de ello es que en la época precolombina, se plantaron los ahuehetes del bosque de Chapultepec; se estableció el primer jardín botánico del mundo en el cerro de Tezcutzingo, municipio de Texcoco, y en 1428 se ordenaron las primeras reforestaciones, en la época colonial se emitieron disposiciones para la plantación de árboles en villas y poblados. En el México independiente, se ordenó la plantación de cuatro arbolitos por cada árbol adulto derribado. Con la creación de la dirección de agricultura en el año de 1909, se inició la conservación, repoblación y normalización de los aprovechamientos forestales a partir de esta fecha las reforestaciones se han desarrollado como una fase de la actividad forestal (Caballero, 2000).

Se tiene conocimiento de que las primeras plantaciones forestales con propósitos comerciales en México se pusieron en marcha en la década de los sesentas la primera fue realizada por la fábrica FIBRACEL en Tamuín San Luís Potosí y FAPATUX en la Sabana de Oaxaca, posteriormente en la década de los noventa se reactiva el interés por las plantaciones forestales comerciales y en 1997 se inicia el programa de apoyos a las plantaciones forestales comerciales, el Prodeplan es una política de estímulo a los

productores para que realizaran plantaciones comerciales (Sánchez *et al.*, 2006; Álvarez-Icaza *et al.*, 2007).

En consecuencia en el año de 1997 se publicó una reforma a la Ley Forestal de 1992, la cual tiene como objetivos el fomento a las actividades de forestación con fines de conservación y restauración ecológica, así como la forestación para la producción de recursos forestales comercializables, asimismo, la Ley Forestal incorpora toda una sección donde se definen en términos generales los instrumentos técnicos, los procedimientos administrativos y los criterios ecológicos generales para la evaluación y dictaminación en materia ambiental y forestal de los proyectos de plantaciones forestales comerciales (Álvarez-Icaza *et al.*, 2007).

Con el objeto de contribuir al establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales en 1997 se inició la asignación apoyos a través del Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan). En la actualidad, se sigue apoyando a las PFC, ahora bajo el esquema de operación de ProÁrbol, manteniendo el objetivo de apoyar el establecimiento de 875,000 ha de plantaciones forestales comerciales (Conafor, 2011).

Es importante señalar que el desarrollo de las plantaciones forestales comerciales en México constituye una actividad altamente estratégica, pero al mismo tiempo muy poco conocida por tratarse de un agronegocio de muy reciente inicio; de hecho el 95 % de las plantaciones que existen a la fecha (alrededor de 120 mil ha) se establecieron después del año 2001 y aún están en etapa de desarrollo o apenas empiezan a entrar en producción, este año a pesar de que México apenas empieza dedicarse a el establecimiento de plantaciones forestales comerciales ya aporta 250,000 m<sup>3</sup>/de madera en rollo por año lo que representa el 7% del total de la producción nacional, las plantaciones forestales en México fueron instaladas con dos objetivos el de proteger restaurar áreas y el de producir madera para la industria forestal (Alfaro e Hidalgo, 2005; Amplafor, 2010).

## 2.4 Plantaciones forestales en Oaxaca

El estado de Oaxaca cuenta con una gran riqueza en recursos naturales es considerado como una de las entidades con mayor diversidad biológica y reconocida como líder en el manejo de bosques comunitarios en el país, ocupa el cuarto lugar nacional en superficie forestal, cuenta con una superficie arbolada de 5.1 millones de hectáreas de las cuales 2.7 millones corresponden a bosques templados, y 2.4 millones a bosques tropicales del total de la superficie se calcula que dos millones de hectáreas tienen potencial para el establecimiento de plantaciones forestales, de la superficie forestal total con la que cuenta el estado 650 mil ha se encuentran bajo manejo por ejidos y comunidades (Agroproduce, 2007).

Para Oaxaca se cuenta con registros que durante el año 2006 se produjeron 743,833 m<sup>3</sup> rollo total árbol en una superficie de 10,608 ha del total producido se sabe que 96.22% de la madera proviene de especies de *Pinus* aportada principalmente por la Sierra Sur, Sierra Norte y Valles Centrales, a pesar de estas cifras el estado de Oaxaca cuenta con un problema muy grave de deforestación ya que se calcula que se tiene una tasa de deterioro de sus bosques y selvas por el orden 2,000,000 ha con una tasa anual de 30,000 ha, debido principalmente al cambio de uso de suelo (Agroproduce, 2007).

Se tiene conocimiento que las primeras plantaciones con fines comerciales realizadas en el estado de Oaxaca fueron en el año de 1974 éstas se desarrollaron en el noreste del estado en la localidad conocida como la “Sabana” en el distrito Mixe, donde predomina un clima cálido húmedo, la superficie plantada que se tenía registrada hasta 1985 fue de 9,050 hectáreas, las especies utilizadas en esta plantación fueron *Pinus caribaea*. var. *hondurensis* Morelet., *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Martínez., *Pinus caribaea* var. *Caribaea* Morelet., y *Pinus tropicalis* Morelet., De todas estas especies plantadas la que se adaptó de mejor manera y presentó mejores resultado fue *Pinus caribaea* Morelet. Estas plantaciones se establecieron con fines comerciales para abastecer de material de celulosa para la fábrica de papel Tuxtepec (Caballero, 2000).

Actualmente datos del INEGI rebelan que durante el transcurso del año 2004 al 2005 en el estado de Oaxaca se reforestaron un total de 2,761 hectáreas lo que equivale a un total de 2, 696,445 árboles plantados (INEGI, 2007).

## 2.5 Importancia de las parcelas permanentes

Las parcelas permanentes de muestreo (PPM) constituyen elementos indispensables para determinar científicamente las variables que definen el crecimiento y la dinámica del bosque. Por la naturaleza de su diseño, la periodicidad de las mediciones y el alcance de sus resultados se recomiendan como una práctica complementaria para el estudio de la silvicultura. En este tipo de parcelas se miden reiteradamente diferentes variables dasométricas, obteniendo así series de datos muy valiosos para la construcción de modelos de crecimiento, ya que representan exactamente la verdadera evolución de las masas estudiadas (Gadow *et al.*, 1999; Manzanero y Pinelo, 2004).

El diseño de las parcelas permanentes es una de las primeras consideraciones que debemos tener al realizar su establecimiento, la distribución puede ser al azar, en diseños aleatorios restringidos o estratificados, o bajo un diseño sistemático. El tamaño de la parcela estará en función de la superficie que se desee muestrear, es de suma importancia delimitar el área que abarca la PPM y así mismo marcar cada uno de los individuos que se encuentren dentro de ella de preferencia con pintura de aceite o con una etiqueta de aluminio para que los individuos marcados se puedan identificar a lo largo del paso de los años, dentro la información más común que se recaba es la atura total de los individuos, altura del fuste limpio o comercial, diámetro, tamaño de la copa grosor de corteza entre otros (Manzanero y Pinelo, 2004).

## 2.6 Importancia del crecimiento y rendimiento en plantaciones forestales

El estudio del crecimiento y de la producción presente y futura de los árboles y rodales forestales es básico y fundamental para la planificación y administración forestal, con la creciente importancia que la silvicultura de producción conquista en la

manufactura de productos forestales, crece también la necesidad de informaciones cuantificadas sobre la disponibilidad de materia prima que puede ser producida por los árboles y por los rodales forestales naturales o plantados (Moscovich, 2004).

El crecimiento y rendimiento de un rodal son una función de la productividad primaria neta y de la asignación de biomasa hacia el fuste y otros componentes del árbol (follaje, ramas, raíz). La productividad se mide en unidades de volumen o biomasa por unidad de superficie y tiempo. Debido a que los incrementos en la densidad de plantas en un sitio, generalmente aumentan la adquisición y uso de recursos como nutrientes y agua, el incremento medio anual (IMA) por hectárea tiende a aumentar, aunque descienda la tasa de crecimiento de árboles individuales (Rodríguez, 2010).

## 2.7 Modelos de crecimiento en plantaciones forestales.

Los bosques son ecosistemas dinámicos que están en constante cambio y para obtener información relevante para la toma de decisiones es necesario proyectar esos cambios. Sin embargo, hoy en día, la planificación del manejo forestal se basa, en gran parte, en valores promedio de los rodales derivados de modelos estáticos que generan tablas de producción y de rendimiento, normalmente, el estudio de los bosques se realiza sobre la base de información descrita en tablas y gráficos de distintos tipos, sin embargo, la posibilidad de apreciar y analizar visualmente los rodales a través de herramientas computacionales puede ayudar en la toma de decisiones (Vargas *et al.*, 2008).

La modelización del crecimiento forestal tiene una larga historia, a principios de los años cincuenta del siglo XVII, los forestales europeos usaban métodos gráficos para modelar el crecimiento y rendimiento de los bosques, mientras que el desarrollo de modelos de simulación data de la década de los 60 del siglo pasado hoy en día los sistemas modernos de simulación tienen su origen en el desarrollo de las tablas de producción en Alemania en el siglo XVIII estas tablas derivaron después en modelos de crecimiento utilizados como instrumentos de predicción para el manejo de bosques coetáneos hoy en día con la invención y perfección de la computadora se siguen

perfeccionando los modelos siguiendo como líder en este tema Estados Unidos de América y Europa (Vargas *et al.*, 2008).

Los modelos están siendo usados para los análisis de sensibilidad, esto es, la búsqueda de las partes de un sistema donde sea más probable de alcanzar un resultado exitoso, hoy en día los modelos de crecimiento son vitales para la planificación del manejo forestal, proyectar el crecimiento y rendimiento de rodales individuales es un prerrequisito para planear el manejo de los bosques a cualquier nivel, por lo tanto los gestores necesitan tener cierto conocimiento de las varias técnicas de modelado del crecimiento y de sus limitaciones (García, 1968; Moscovich, 2004).

Por lo tanto la predicción del crecimiento y rendimiento de masas forestales se ha convertido en el primer paso para realizar un manejo del bosque técnico, organizado y eficiente, con una mayor certidumbre sobre los bosques del mañana, los modelos de predicción actualmente representan una herramienta fundamental para el correcto desarrollo de técnicas que buscan obtener la máxima productividad y rentabilidad de los bosques (Corral, 1999).

Actualmente se han realizado diversos trabajos donde se estiman proyecciones de rendimientos y crecimientos en las dimensiones de árboles individuales o de una masa en general, dichos estudios se han realizado en plantaciones forestales o en bosques naturales con la finalidad de crear una base de información que contribuyan a un buen manejo y a una acertada toma de decisiones, para realizar estas proyecciones se consideran diferentes modelos, entre los más utilizados tenemos a los siguientes: Gompertz, Chapman-Richards, Weibull, Schumacher modificado o modelo de Korf, logístico, Meyer entre otros, estos modelos han sido probados en diferentes especies y cada uno tiene diferentes adecuaciones (Hernández, 2003; Corral y Navar, 2005; Montero, *et al.*, 2007 y Cortés, 2010).

## 2.8 Índice de sitio

La evaluación de la capacidad productiva y calidad de sitio de un terreno forestal es de fundamental importancia para la planificación de la mayoría de las inversiones en la formación, manejo y aprovechamiento de los recursos forestales. La medida de calidad de sitio más usada en rodales coetáneos es el índice de sitio ya que es uno de los métodos más utilizados en México y otras partes del mundo para estimar la productividad de los terrenos forestales, se define como la altura media alcanzada para los árboles dominantes y codominantes a una edad determinada. Para estimar el índice de sitio en terrenos ocupados por rodales de edades distintas de la edad base del índice, es necesario disponer de una ecuación o familia de curvas que permitan predecir la altura a dicha edad (García, 1970; López y Valles, 2009).

Por su parte Carrero menciona que la clasificación de rodales mediante “curvas de índice de sitio” es útil en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales ya que de la calidad del sitio depende en gran parte el crecimiento y rendimiento de las mismas. Para determinar la calidad de sitio se utiliza el método de índice de sitio, este a su vez se basa en la altura dominante de un rodal se usa esta variable ya que el crecimiento en altura es sensible a diferentes calidades de sitio, poco afectada por la densidad y composición de especies, relativamente estable, bajo variaciones de intensidad de raleo y fuertemente correlacionada con el volumen (Carrero *et al.*, 2008; Olate, 2007).

La tasa de crecimiento en altura dominante y la magnitud absoluta que logra alcanzar esta característica, a una edad determinada, pueden variar grandemente de una localidad a otra dependiendo, en primera instancia, de la calidad de sitio (este concepto que expresa el efecto combinado de todos los factores del ambiente que influyen sobre el crecimiento de una especie, en un determinado lugar) (Mora y Meza, 2007).



## 2.9 Trabajos afines

Hoy en día existen pocos estudios relacionados con el presente estudio, la mayor parte de las investigaciones están orientadas a la determinación de crecimiento e incremento en bosques naturales maduros, y en caso de plantaciones las pocas que se han realizado están referidas a especies tropicales, a continuación se describen algunas investigaciones relacionadas con el presente estudio.

Uno de los estudios que presenta similitud por las especies estudiadas y la región donde se realizó fue efectuado por Hernández quien evaluó el crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, para dicho estudio se utilizaron diferentes modelos dentro de los cuales los que presentaron mejor ajuste fueron los de Schumacher, monomolecular, logístico y weibull, de las especies plantadas *Pinus patula* var. *longipedunculata* Schlecht et Cham presentó mayor crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen, seguido por *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehren. Que tuvieron menor crecimiento (Hernández, 2003).

En el año 2010 se realizó un estudio de investigación en la sierra sur del estado de Oaxaca específicamente en Miahuatlán de Porfirio Díaz donde se evaluó el crecimiento en diámetro y altura de tres plantaciones de pinos, las especies con las que se trabajó fueron *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata*. Martínez y *Pinus douglasiana* Martínez, en este estudio se utilizó el método de parcelas permanentes de muestreo, para estimar el crecimiento en diámetro y altura de estas especies se utilizaron los modelos de Schumacher modificado o modelo de Korf, Chapman-Richards y Weibull, se encontró que el mejor modelo que se ajustó fue el de Schumacher y la especie que presentó un mayor crecimiento fue *Pinus patula* (Cortés, 2010).

Así mismo en el estado de Durango se analizó el crecimiento e incremento de cinco pináceas en un bosque natural, para ello se utilizaron diversas ecuaciones de crecimiento e incremento en diámetro, altura y volumen, las especies evaluadas fueron

*Pinus durangensis* Martínez., *P. cooperi* Blanco., *P. leiophylla* Schl. et Cham., *P. engelmannii* Carr., y *P. herrerae* Martínez., después de realizar el análisis con cada uno de los modelos se encontró que para el crecimiento los modelos que se ajustaron de mejor manera fueron el Monomolecular y Weibull, con lo que respecta a los modelos para evaluar altura y volumen la ecuación de Chapman-Richards y Gompertz presentaron los mejores registros. De las cinco especies utilizadas en esta evaluación *Pinus duranguensis* Martínez., fue la especie que presentó mayor crecimiento e incremento (Corral y Navar 2005).

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Localización

El presente estudio se realizó en la comunidad de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca localizada en la región de la sierra norte al noreste de la ciudad de Oaxaca, pertenece al municipio de Santiago Xiacuí, distrito de Ixtlán de Juárez, se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 96°25'04" longitud Oeste y 17°15' 59" latitud Norte a 2355 msnm, el acceso se da a través de la carretera federal 175 Oaxaca-Tuxtepec, de donde a la altura de Ixtlán de Juárez parte la carretera Ixtlán-Zoogocho, sobre la cual se transitan 17 kilómetros para así llegar al núcleo de la población. El establecimiento de las parcelas permanentes se realizó en plantaciones forestales ubicadas en los predios comunales de esta localidad en los parajes denominados Los pozos, La cueva del Chahuiro, Loma del jabalí, Loma de llano salado y La laguna (Figura 1) (UZACHI, 2002; Google Earth, 2011).

### 3.2 Descripción del área de estudio

#### 3.2.1 Clima

De acuerdo con la clasificación de Enriqueta García con modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen y a datos del servicio meteorológico nacional la comunidad de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca presenta el siguiente tipo de clima Cb (w2) (w) igw" el cual corresponde a un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano, asimismo presenta una temperatura máxima de 21.7° C, una temperatura media anual de 15.5° C y una temperatura mínima anual de 9.3° C, cuenta con una precipitación promedio de 1188.8 mm anuales (García, 1981; CNA, 2000).

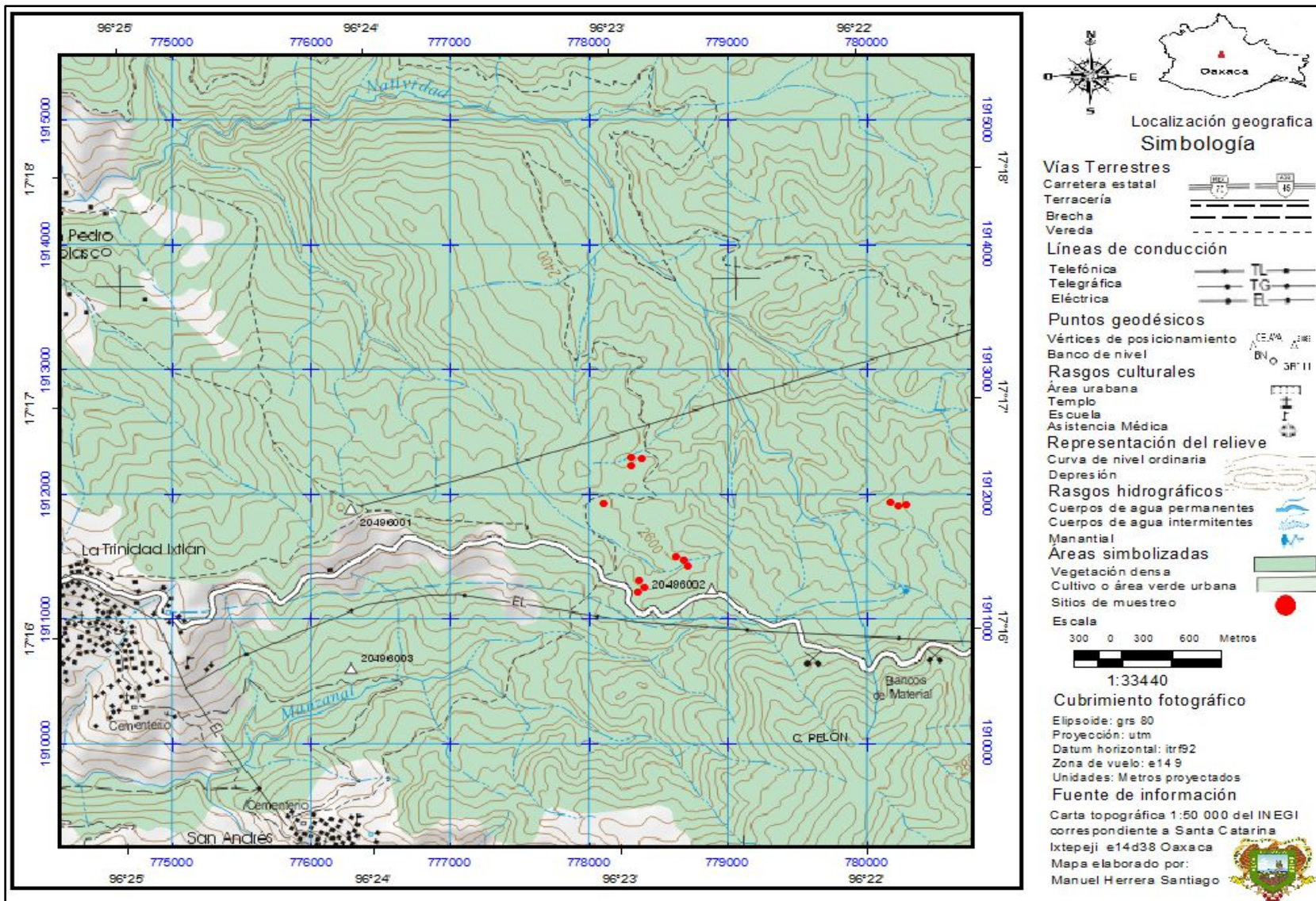


Figura 1. Mapa de la localización de los sitios de muestreo establecidos en plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.

### 3.2.2 Fisiografía

Según el Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos el municipio de Santiago Xiacuí al cual pertenece la comunidad de La Trinidad Ixtlán se ubica en la provincia Madre del sur, subprovincia sierra orientales y al sistema de topofomas de la sierra alta compleja (INEGI, 2005).

### 3.2.3 Edafología

Datos de la Dirección General de Geografía del territorio Nacional La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca presenta una geología perteneciente al precámbrico con rocas metamórficas Pe (gn), los tipos de suelos que predomina son combisol, acrisol y luvisol (SPP, 1981).

### 3.2.4 Hidrología

La comunidad de La Trinidad pertenece a la Región Hidrológica 28 correspondiente al Papaloapan, a la cuenca del R. Papaloapan, y a la subcuenca R. Quirotepec, presenta un escurrimiento superficial que va desde cero al 20 % según las condiciones del terreno, las corrientes permanentes son parcialmente utilizadas para obtención de agua para uso doméstico (INEGI, 1984).

### 3.2.5 Flora

De acuerdo a la información de la carta correspondiente a uso del suelo y vegetación del INEGI con clave E14-9 a una escala de 1:250,000 la Trinidad Ixtlán Presenta una a un bosque de pino-encino donde destacan las siguientes especies: Pino chino (*Pinus teocote* Schltdl.), Pino ayacahuite (*Pinus ayacahuite* Ehren.), Pino colorado (*Pinus patula* Schlecht et Cham.), pino lacio (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) Oyamel o abeto (*Abies religiosa* Schlecht et Cham.) y también presente el género *Quercus* y además de otras latifoliadas (INEGI, 1984).

### 3.2.6 Fauna

Los animales propios de esta comunidad son los siguientes, mamíferos: zorro (*Vulpes vulpes* L.), zorrillo (*Mephitis macroura* Lichtenstein.) venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Zimmermann.), jabalí (*Tayassu tajacu* L.), puma (*Puma concolor*, o *Felis concolor* L.), tlacuache (*Didelphis marsupialis* L.), ardilla gris (*Sciurus carolinensis* Gmelin.), conejo (*Sylvilagus cunicularius* Waterhouse.), coyote (*Canis latrans* Say.), armadillo (*Dasyurus novemcinctus* L.), comadreja (*Mustela nivalis* L.), tejón (*Taxidea taxus* Schreber.), puercoespín (*Sphiggurus mexicanus* Kerr.) entre otros (Archivo municipal La Trinidad, s/a; Arita y Rodríguez 2004).

En aves se tiene a las siguientes especies: colibrí (*Archilochus colubris* L.), pájaro carpintero (*Colaptes melanochloros* Gmelin.) halcón (*Falco peregrinus* Tunstall.), zopilotes (*Cathartes aura* L.), gavilán (*Accipiter nisus* L.), gorriones (*Melospiza melodía* Wilson.), paloma (*Columba livia* Gmelin.) en reptiles tenemos a la víbora de cascabel (*Crotalus durissus* L.), coralillo (*Micruroides euryxanthus* Schmidt.), chintetes (*Sceloporus horridus* Weigmann.), camaleón (*Chamaeleo chamaeleon* L.) , escorpión (*Buthus occitanus* Amoreux.) (Archivo municipal La Trinidad, s/a; Arita y Rodríguez 2004).

### 3.3 Antecedentes de la plantación

Las plantaciones que se evaluaron fueron plantadas en diferentes años por comuneros de la localidad las especies establecidas en dichas plantaciones fueron *P. pseudostrobus* Lindl. y *Pinus pátula* Schlecht et Cham. Teniendo a *P. patula* como especie más abundante.

La semilla para la producción de las plantas se colectó dentro del área del predio de la misma localidad, estas plantas fueron producidas en el vivero comunal de la localidad, la semilla se germinó en un almácigo, las plántulas se trasplantaron a bolsas de polietileno de 10 cm de ancho por 20 cm de longitud, el sustrato que se utilizó fue una mezcla tierra de monte y tierra blanca, además se le agregó cal para evitar que

insectos la dañaran, una vez trasplantadas en las bolsas se le aplicaron riegos cada tercer día para estimular su crecimiento, posteriormente fueron llevadas al lugar donde se establecieron definitivamente.

Los sitios donde se realizaron las plantaciones son áreas donde previamente se realizó el aprovechamiento correspondiente a la anualidad en turno, estos trabajos se hacen como una medida para asegurar que la regeneración se establezca, los sitios intervenidos se limpiaron de todo el escombro realizando la tradicional limpia e incluso algunas veces se emplea el uso del fuego para limpiar el área, otras áreas que se destinan para realizar plantaciones son áreas abandonadas de agricultura o espacios vacíos que se localizan en el lugar, el periodo en el que se realizaron las plantaciones fue en los meses de julio y agosto cuando es la fecha que termina la anualidad y también cuando inicia la temporada de lluvia en la región.

La manera en la que se realizaron las plantaciones de los arbolitos fue en cepa común de 30 a 40 cm de ancho y de 30 a 40 cm de profundidad dependiendo las condiciones del terreno con un espaciamiento de tres metros entre cada cepa en forma de tres bolillo, este trazo fue realizado por el ingeniero encargado del área y ejecutado por los comuneros de la localidad y demás voluntarios como estudiantes y otras personas de la localidad. El número de arbolitos que se plantaron fue de 1,111 plantas por hectárea de acuerdo a los recorridos de campo realizados por el técnico comunitario se definió que plantación requerían de un chapeo o una poda y así estimular su crecimiento, los aclareos se ejecutan según la calendarización contenida en el programa de manejo forestal persistente para el aprovechamiento maderable para La Trinidad Ixtlán Oaxaca.

### 3.4 Evaluación de las plantaciones de *Pinus*

#### 3.4.1 Diseño de muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó en el presente estudio corresponde a un sistema de muestreo aleatorio con este tipo de muestreo todos los elementos tienen la

misma probabilidad de ser elegidos, los individuos que formaron parte de la muestra se eligieron al azar mediante números aleatorios (Casal y Matéu, 2003).

#### 3.4.2 Intensidad de muestreo

De acuerdo a los requisitos del Prodeplan en el año 2008 hace referencia a que la intensidad de muestreo para plantaciones o estratos muy pequeños (1 a 3 ha) el valor del error de muestreo es muy bajo y se requiere entonces de un número mayor de parcelas para obtener estimaciones adecuadamente y que sean representativas, para esto recomienda que para superficies de una a tres hectáreas se utilice una intensidad de muestreo de 2.5 % lo que hace referencia a 2.5 parcelas por ésta superficie, para una mayor confiabilidad se aumentó a una intensidad de 3% lo cual representa a tres parcelas por sitio (Conafor, 2008).

#### 3.4.3 Forma y tamaño de las parcelas permanentes

Para determinar la forma de los sitios para el monitoreo de plantaciones forestales se deben considerar las características que presente el terreno donde se encuentren ubicadas las plantaciones, según el Prodeplan en sus normas para la evaluación de plantaciones forestales en el 2008 menciona que los sitios circulares son uno de los más utilizados en la actividad forestal debido a la forma accidentada que presentan los terrenos del país y recomienda que para plantaciones que contengan una densidad mínima 1000 árboles se utilicen sitios circulares (Conafor, 2008).

#### 3.4.4 Tamaño de las parcelas permanentes

Según normas del Prodeplan para evaluación de plantaciones forestales establece que la superficie de los sitios de muestreos deben ser de 100 m<sup>2</sup>, de acuerdo al tipo de estudio que se pretende realizar se optó que el tamaño de las parcelas permanentes establecidas sea de 500 m<sup>2</sup>, es de saber que las plantaciones presentan un constante crecimiento y es recomendable que las parcelas presenten una superficie considerable para monitoreos posteriores (Conafor, 2008).



### 3.4.5 Variables evaluadas

A cada uno de los individuos que se encontraron dentro del sitio se le midieron las siguientes variables:

Diámetro: se determinó a una altura de 1.30 metros de altura a partir de la base empleando el uso de una cinta diamétrica.

Altura total del árbol: se determinó con la utilización de una pistola Haga y un clinómetro.

Grosor de corteza: se determinó con la utilización de un medidor de corteza teniendo como unidad de medida milímetros.

Diámetro de copa: esta variable se midió con la ayuda de una cinta métrica.

## 3.5 Modelos de crecimiento

### 3.5.1 Crecimiento en diámetro y altura

Para obtener el crecimiento de las especies evaluadas primeramente se determinó el diámetro y altura promedio por cada sitio y por cada especie. Para efectuar este análisis se utilizaron tres modelos de crecimiento que se presenta en el Cuadro 1. (Hernández, 2003; Corral y Navar 2005; Carrero *et al.*, 2008; Cortés 2010), El ajuste de los modelos se realizó con el programa de SAS Versión 9.0, para la elección del mejor modelo se compararon los estadísticos, cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de determinación  $R^2$  y  $R^2$  ajustada recomendado por (Poulin-Costello, 1994) y para la elaboración de las gráficas se utilizó el programa de SigmaPlot 10.0.

## 3.6 Determinación de la calidad de sitio

Para la determinación de la calidad de sitio se empleó uno de los indicadores más usados en el ámbito forestal como lo es el índice de sitio (IS) que éste a su vez se basa en la altura dominante de un rodal, para obtener este valor se utilizaron tres modelos los cuales han sido probados en otros trabajos presentando buen ajuste como lo son los modelos de Korf, Chapman-Richards y Weibull, (Carrero *et al.*, 2008) estos modelo se ajustaron para la altura dominante (Montero *et al.*, 2007)

Cuadro 1. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro y altura para *Pinus patula* Schlecht et Cham. y *Pinus pseudostrobus* Lindl.

No.	Modelo	Expresión matemática
1	Schumacher modificado o modelo de Korf	$y = \exp\left(b_0 - \frac{b_1}{E^{b_2}}\right)$
2	Chapman-Richards	$y = b_0(1 - \exp^{-b_1 E})^{b_2}$
3	Weibull	$y = b_0\left(1 - \exp^{-b_1 E^{b_2}}\right)$

Dónde:  $y$  = dap ( $D$ ) o altura ( $H$ ) de los árboles de medición,  $E$  = edad,  $\exp$  = función exponencial y  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  = parámetros del modelo a estimar

Para determinar el índice de sitio se utilizó la altura dominante para cada una de las especies con las que se trabajó, para esto se ajustó esta variable con cada uno de los tres modelos antes mencionados utilizando el programa SAS versión 9.0, una vez ajustados cada uno de los modelos se procedió a estimar el coeficiente de determinación ( $R^2_{adj}$ ) para seleccionar al mejor modelo, a pesar de que todos los modelos se ajustaron para esta variable y la variabilidad entre ellos es mínima (Apéndice 5 y 6) se optó por utilizar el modelo de Chapman-Richards ya que es el más empleado en diversos trabajos para la determinación de índice (Mares, 2003; Olate, 2007; Montero *et al.*, 2007; Galán, 2007)

Una vez realizado el ajuste se procedió a la construcción de la curva guía y posteriormente se generó una familia de curvas de tipo anamórficas ya que son la más utilizadas para bosques coetáneos, las curvas anamórficas son una familia de líneas paralelas con una pendiente constante pero con interceptadas al origen de las variables lo que quiere decir que la altura de una de dos curvas cualquiera, a cualquier edad, es una proyección constante de altura de la otra de la misma edad, la edad base que se considero fue de 21 años que es hasta le que se tiene registro, cabe mencionar que a

esta edad aun no llega a estabilizarse su crecimiento, (Zepedo y Rivero, 1984) el modelo empleado para la determinación del índice de sitio es el de Chapman-Richards propuesto por (Galán, 2007) .

Es importante señalar que las curvas de índice de sitio pueden ser anafóricas o polimórficas y ambas tienen propiedades complementarias. De aquí que las curvas de índice de sitio que presenten las propiedades de ambos tipos de curvas se convierten en una herramienta importante para mejorar las estimaciones de altura del rodal y productividad forestal (Torres-Rojo, 2001).

Modelo de Chapman-Richards (Galán, 2007):

$$y = b_0(1 - \exp^{-b_1 E})^{b_2}$$

Dónde:

$y$  = altura dominante (m)

$E$  = edad (años) reales

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  = parámetros a estimar

Exp = función exponencial

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Crecimiento en diámetro y altura

#### 4.1.1 Crecimiento en diámetro promedio para *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus* Lindl.

De los tres modelos que se utilizaron para evaluar esta variable todos presentaron un buen ajuste y la variación entre ellos es mínima, sin embargo el modelo de Weibull fue el que mejor se ajustó para *Pinus patula longipedunculata* y *P. pseudostrobus* presentando un coeficiente de determinación ( $R^2_{adj}$ ) de 0.99 y 0.97 respectivamente. El crecimiento promedio se puede observar en la Figura 2 para cada especie donde se aprecia el diagrama de dispersión y la curva de ajuste (Apéndices 1 y 2).

El modelo que se empleó en este estudio no coincide con lo reportado por Cortés (2010) quien evaluó plantaciones de *Pinus patula*, *P. pseudostrobus* y *P. douglasiana* para determinar el crecimiento en diámetro y altura, el encontró que el modelo que presentó mejor ajuste para el diámetro fue el de Schumacher modificado o modelo de Korf.

Un estudio más que tiene relación con el estudio que se realizó es el elaborado por Corral y Navar (2005) quienes realizaron la evaluación del análisis de crecimiento e incremento para cinco pináceas de los bosques de Durango México, encontraron que los mejores modelos que se ajustaron para la variable de diámetro fueron Chapman-Richards y Weibull presentando los más altos registros de ajuste y validación y un mayor coeficiente de determinación

Si observamos el comportamiento de la curva (Figura 2) en ambas especies podremos apreciar que el comportamiento de la curva es de manera ascendente sin llegar a estabilizarse aún ya que son plantaciones jóvenes y con un buen espaciamiento por lo cual aún siguen creciendo, de las dos especies evaluadas a la edad de 8 años *Pinus patula* presentó un diámetro de 7.55 cm y *Pinus pseudostrobus* presentó un diámetro de 4.58 cm, si observamos a la edad de 21 años que fue la edad hasta la cual se evaluó *Pinus patula* sigue presentando mayor crecimiento en diámetro teniendo 27.7cm contra 25.4 cm de *P. pseudostrobus*.

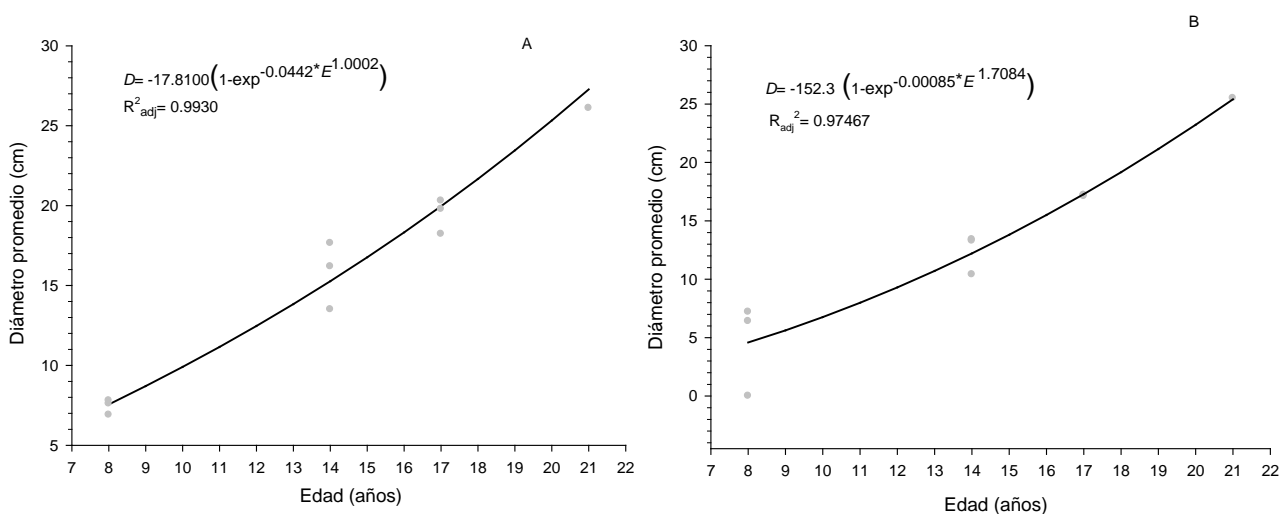


Figura 2. Curva de crecimiento de edad-diámetro promedio para para *Pinus patula* Schl. et Cham var. *Longipedunculata* (A) y *Pinus pseudostrobus* Lindl. (B) en plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.

#### 4.1.2 Crecimiento en altura promedio para *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus* Lindl.

En lo que respecta al crecimiento en altura de igual forma el modelo que presentó mejor ajuste para ambas especies fue el de Weibull presentando coeficientes de determinación ( $R^2_{adj}$ ) de 0.996 para *Pinus patula* y de 0.974 para *Pinus pseudostrobus*. Al observar el crecimiento en la Figura 3 (Apéndice 3 y 4) se puede explicar que el crecimiento presentó una forma ascendente sin llegar a estabilizarse.

Al evaluar esta variable y compararlo con el estudio realizado por Cortés (2010) podemos observar que no coincide al elegir el modelo que mejor se ajusta, en dicho trabajo el modelo que se ajustó de mejor manera fue el de Korf, y para este estudio el modelo de Weibull sigue ajustándose de mejor manera.

Comparando el presente estudio con el realizado por Corral y Navar (2005) varia en la elección del modelo ya que en el estudio antes mencionado el modelo que presentó mejor ajuste fue el de Chapman-Richards con un coeficiente de determinación de  $R^2$  de 0.7, para el presente estudio el modelo de Weibull fue el que presentó mejor ajuste presentando un coeficiente de determinación de  $R^2$  con valor de 0.99 para *Pinus patula* y 0.97 para *Pinus pseudostrobus*, con los valores antes mencionados se puede ver claramente que en el presente estudio se cuenta con un mejor ajuste, cabe mencionar que el estudio de Corral y Navar se realizó en un bosque maduro y evaluando diferentes especies (Corral y Navar, 2005).

Al interpretar el comportamiento de la Figura 3 podemos observar que *Pinus patula* a la edad de 8 años presentó una altura de 5.79 m y *P. pseudostrobus* una altura de 3.92 m, al comparar la altura de estas dos especies a la edad de 21 años podemos observar que *Pinus patula* presentó una altura de 22.64 m contra 23.41 m que presentó *P. pseudostrobus* con lo cual podemos decir que en los primeros años de vida *P. patula* presentó mayor crecimiento más sin embargo a una edad más avanzada *P. pseudostrobus* presentó mayor crecimiento que *P. patula*.

#### 4.1.3 Crecimiento en altura dominante para *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus* Lindl.

Al evaluar esta variable se tiene que el modelo que se ajustó de mejor manera para *Pinus patula longipedunculata* fue Schumacher modificado por Korf con un coeficientes de determinación ( $R^2_{adj}$ ) de 0.989 y para *P. pseudostrobus* sigue prevaleciendo el modelo de Weibull con un coeficientes de determinación ( $R^2_{adj}$ ) de 0.969. El comportamiento del crecimiento en altura dominante de estas especies es de forma ascendente sin llegar aun a estabilizarse como mencionamos anteriormente esto

se debe a que aún siguen creciendo ya que son plantaciones jóvenes sin que su crecimiento llegue a estabilizar, este comportamiento se puede observar en la Figura 4 (Apéndices 5 y 6).

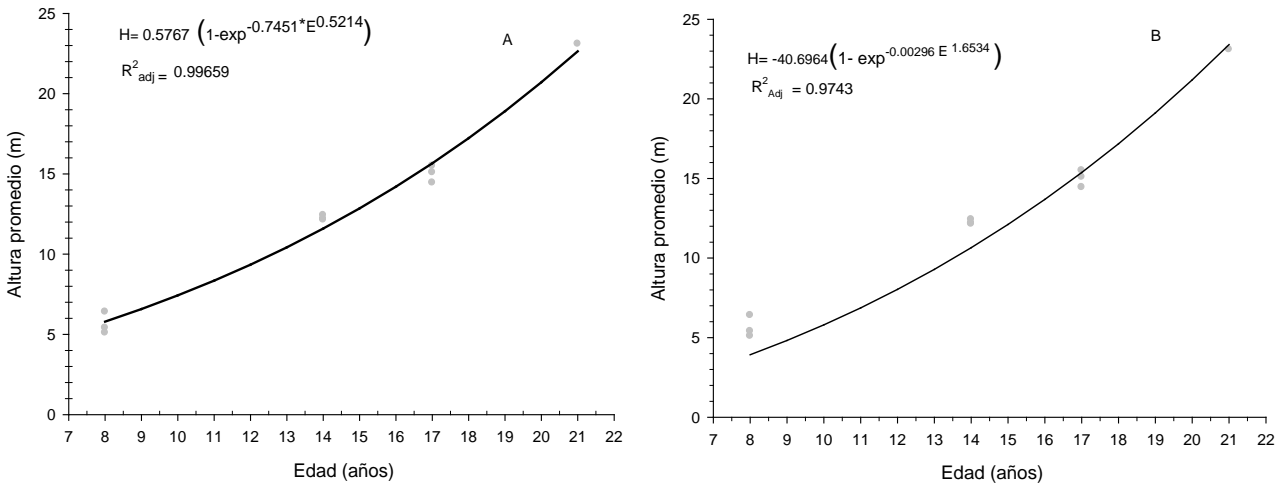


Figura. 3. Curvas de crecimiento de edad-altura promedio para *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* (A) y *Pinus pseudostrobus* Lindl. (B) En plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.

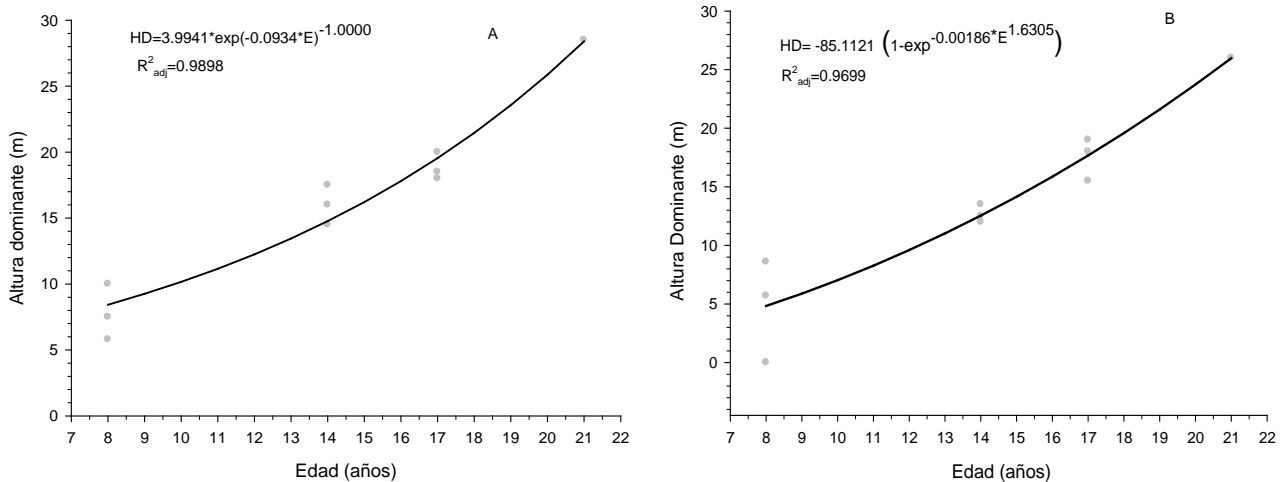


Figura. 4. Curvas de crecimiento de edad-altura dominante para *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *Longipedunculata* (A) y *Pinus pseudostrobus* Lindl.(B) en plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.

A 8 años de edad *Pinus patula* presentó una altura dominante de 8.43 m y *Pinus pseudostrobus* 4.83 m, como podemos observar la diferencia es alta por lo que

podemos concluir que en los bosques de La trinidad Ixtlán Oaxaca la especie de mayor crecimiento en los primeros años de vida es *Pinus patula*. Al comparar el crecimiento de altura promedio con la altura dominante a 8 años de edad podemos observar que para *Pinus patula* la diferencia es de 2.64 m, y la diferencia para *Pinus pseudostrabus* es de 0.91m.

#### 4.2 Incremento en diámetro y altura

##### 4.2.1 Incremento en diámetro y altura promedio para *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata*.

El incremento corriente anual (ICA) como el incremento medio anual (IMA) en las variables de diámetro y altura (Figura 5) presentaron un comportamiento ascendente, esta tendencia se debe a que son plantaciones muy jóvenes y por lo tanto están en constante crecimiento, así mismo se puede observar que el ICA y el IMA aún no llegan a unirse por lo tanto se puede decir que estas plantaciones a 21 años de edad aún no llegan a su turno. Los valores arrojados indican que a la edad de 8 años el diámetro presentó un ICA de 1.09 cm y el IMA es de 0.94 cm con lo que respecta a la altura a esta misma edad el ICA es de 0.71 m y el IMA de 0.72 m.

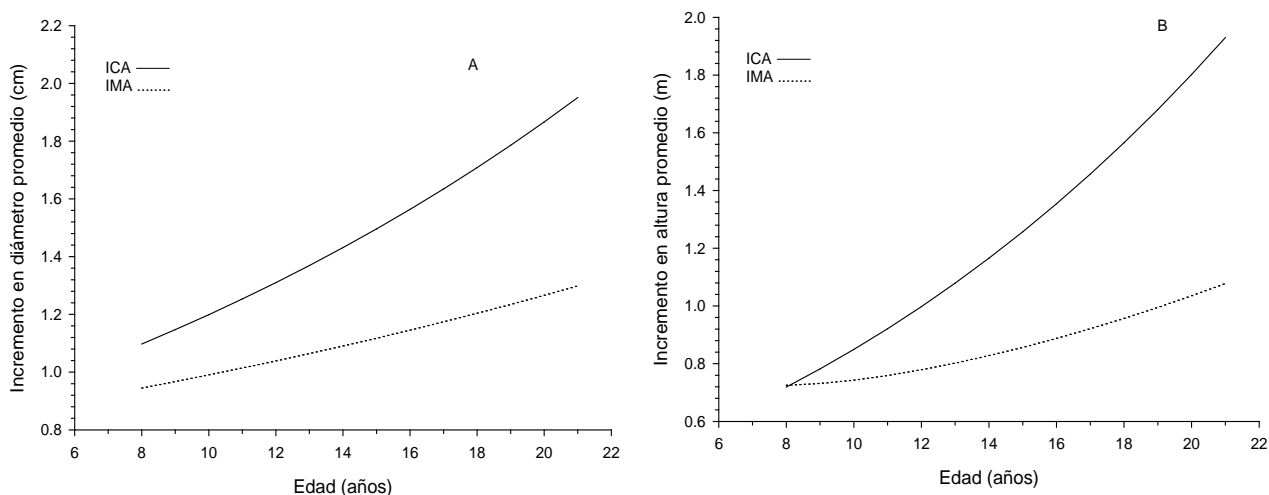


Figura. 5. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (A) y altura promedio (B) para *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Lindl. Empleando el modelo de Weibull. En plantaciones de La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca.



Considerando el al incremento a la edad de 21 años que es la edad máxima que se evaluó en campo el diámetro presentó un ICA de 1.95 cm y un IMA de 1.29 cm. Para la altura a esta misma edad se tiene un ICA 1.93 m y un IMA de 1.07 m.

#### 4.2.2 Incremento en diámetro y altura promedio para *Pinus pseudostrobus* Lindl.

El incremento de *Pinus pseudostrobus* tanto en ICA como en IMA presentan una tendencia creciente sin que la línea representada por cada uno de estos valores (Figura 6) llegue a cruzarse aún ya que de igual forma no llegan a su turno donde se establezca este crecimiento.

Los valores arrojados para esta especie a la edad de 8 años para la variable de diámetro presentan un ICA de 0.94 cm y un IMA de 0.57 cm con lo que respecta a la altura a la misma edad el ICA presentó un valor de 0.80 m y un IMA de 0.49 m, observando el incremento a la edad de 21 años el ICA para diámetro es de 2.17 cm y un IMA de 1.20 cm, la altura a esta misma edad presenta un ICA de 2.21 m y un IMA de 1.11 m.

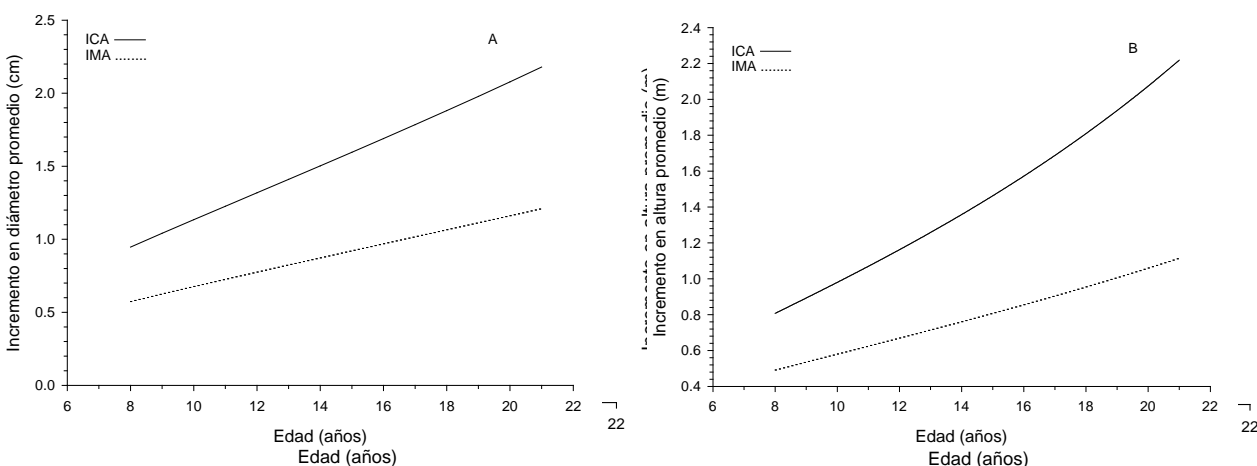


Figura. 6. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro promedio (A) y altura promedio (B) para *Pinus pseudostrobus* Lindl. Empleando el modelo de Weibull. En plantaciones de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca.

Al analizar los valores y las representaciones gráficas del incremento en diámetro y altura de ambas especies evaluadas podemos concluir que *Pinus patula* presenta mayor incremento en diámetro y altura tanto en los primeros años de vida sin embargo si observamos los valores a la edad de 21 años en diámetro como en altura *Pinus pseudostrobus* presenta mayor incremento que *Pinus patula*.

Cortés (2010) determinó el incremento para tres especies de *Pinus* utilizando los mismos modelos que se emplearon en el presente estudio, Cortés encontró que los incrementos de ICA e IMA en diámetro para *Pinus pseudostrobus* y *P. douglasiana* presentan una curva de “J” invertida mostrando un ICA en el primer año de 1.49 y 2.71 cm, con un IMA igual que el ICA, teniendo un mayor incremento *P. douglasiana*, *P. patula* presentó en el primer año un incremento menor respecto a las demás especies, con un ICA de 0.18 cm. EL incremento en altura se encontró que el ICA y el IMA para las tres especies evaluadas tienen forma de “J” invertida alcanzando su mayor incremento en el primer año, la especie que presentaron mayor incremento fue *P. patula* seguido de *P. pseudostrobus* y al final *P. douglasiana*.

Comparando el comportamiento del incremento del estudio realizado por Cortés con el presente estudio ni una sola de las variables evaluadas presentó comportamiento en forma de “J” invertida, el comportamiento que se observó en este estudio fue de forma ascendente sin que las curvas del ICA e IMA llegaran a converger, como ya se comentó anteriormente son plantaciones muy jóvenes que aún no estabilizan su crecimiento.

De La Cruz (2010) realizó un estudio epidemiométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. En este estudio se determinó que el ICA para altura de esta especie alcanza su máximo valor de  $0.56^{-1}$  a la edad de 7 años, el comportamiento del IMA es lento en los primeros años alcanzando su máximo crecimiento a la edad de 13 años con un valor de 0.48 metros por año<sup>-1</sup>. Con lo que respecta al diámetro el ICA es de  $0.75 \text{ cm año}^{-1}$  en los primeros 9 años, el comportamiento del IMA es lento en los primeros 3 años alcanzando su máximo incremento a los 14 años con un valor de  $0.553 \text{ cm año}^{-1}$ . Comparando el estudio realizado por De La Cruz con el estudio realizado en La

Trinidad, Ixtlán se encuentra una similitud en el comportamiento de del incremento en el diámetro y la altura.

### 4.3 Índice de sitio

Los tres modelos empleados para ajustar la altura dominante presentaron un buen ajuste (Apéndice 5) y la diferencia entre el coeficiente de determinación  $R^2_{adj}$  y cuadrado medio del error (CME) es mínimo, a pesar que el modelo de Korf fue el que presentó mejor ajuste se optó por utilizar el modelo de Chapman-Richards ya que es uno de los más utilizados y que se ha empleado en índices de sitio (Mares 2003; Galán, 2007; Carrero, 2008; López y Valles 2009; Cortés 2010).

Una vez determinado el modelo a utilizar se construyó la curva guía la cual representa la tendencia que indica el comportamiento medio del crecimiento en altura dominante de las masas coetáneas, representadas por el patrón de crecimiento en altura dominante. La curva que se generó presentó un comportamiento casi lineal (Figura 7) sin llegar a estabilizarse ya que las plantaciones son muy jóvenes, se utilizó una edad base de 21 años que es la edad hasta la que se evaluó presentando una altura de 27 metros (Zepeda y Rivero, 1984).

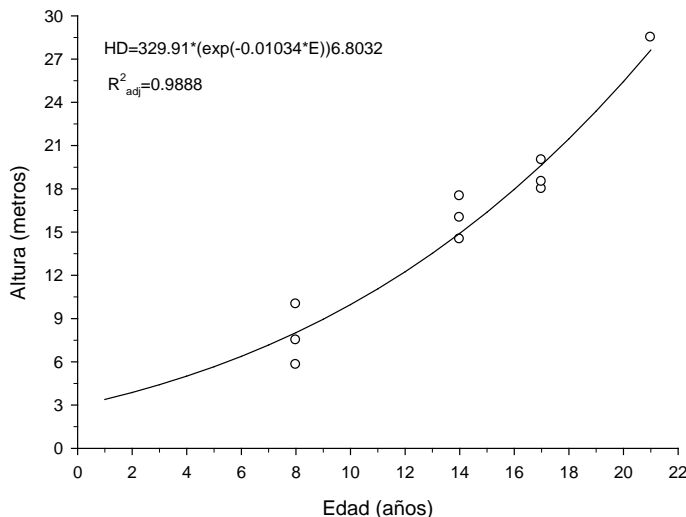


Figura 7. Curva guía de altura dominante determinada mediante el ajuste del modelo de Chapman-Richards.

Ya establecida la tendencia de la curva guía y seleccionada la edad base, se estimó el número de clases de calidad de sitio y la equidistancia entre las tendencias promedio a la edad base, para ello se tomó en cuenta el rango extremo de productividad existente sobre la edad base, la equidistancia entre tendencias promedio de cada clase de calidad a la edad base se puede determinarse arbitrariamente o bien dividiendo el rango de productividad en la edad base por el número de clases de calidad que se desea (Cuadro 2) para el presente trabajo fueron 5, por lo general se utilizan cinco clases de calidad de sitio cuya amplitud no es menor de tres metros que incluyen solo los rodales que se pretenden manejar (Zepeda y Rivero, 1984)

Los índices de sitio son de gran utilidad ya que a través de ellos podemos obtener la productividad actual de un rodal y a través de la construcción una familia de curvas anamórficas podemos proyectar la productividad futura del rodal, dándonos así información para un óptimo manejo de esos sitios, es importante señalar que los índices de sitio proyectados en el presente estudio no puedan encontrarse todos en campo ya que la proyección es elevada.

Cuadro 2. Determinación del coeficiente de proporcionalidad para la creación de curvas anamórficas para cada índice de sitio.

Clase de calidad	IS	Coeficiente de proporcionalidad
IS 1	33	$(33/27) = 1.2$
IS 2	30	$(30/27) = 1.1$
IS 3	27	$(27/27) = 1$
IS 4	24	$(24/27) = 0.9$
IS 5	21	$(21/27) = 0.8$

De acuerdo a los valores arrojados en la creación de la familia de curvas anamórficas a una edad base que es de 21 años (Cuadro 3 y Figura 8), los sitios más aptos para *Pinus* son aquellos cuyos valores de índice de sitio son mayores a 27.62 m de altura que en este caso son el IS I e IS II con valores de 33.14 m y 30.38 m respectivamente, el valor intermedio es el IS III cuya altura es de 27.6 m, el IS IV se considera como regular presentando una altura de 24.86 m y malo o pobre al valor

obtenido por el IS V con un valor de 21 m. La amplitud entre los índices de sitio fue de 3 m, ya que clases con amplitudes menores resultarían problemáticas al tratar de estimar la calidad de sitio de un lugar, principalmente cuando el arbolado es joven como las del presente estudio (Zepeda y Rivero, 1984).

Cuadro 3. Valores para cada índice de sitio a una edad base de 21 años.

Edad (años)	IS I	IS II	IS III	IS IV	IS V
	H 33	H 30	H 27	H 24	H 21
1	4.0694562	3.73033485	3.3912135	3.05209215	2.7129708
2	4.65252242	4.26481222	3.87710202	3.48939182	3.10168162
3	5.29833288	4.85680514	4.4152774	3.97374966	3.53222192
4	6.01131189	5.51036923	5.00942657	4.50848392	4.00754126
5	6.79600379	6.22967014	5.66333649	5.09700284	4.53066919
6	7.6570652	7.01897643	6.38088766	5.7427989	5.10471013
7	8.59925698	7.88265224	7.16604749	6.44944274	5.73283799
8	9.62743593	8.8251496	8.02286327	7.22057694	6.41829062
9	10.7465461	9.85100059	8.95545508	8.05990957	7.16436406
10	11.9616101	10.9648092	9.96800838	8.97120755	7.97440671
11	13.2777199	12.1712432	11.0647666	9.95828993	8.85181327
12	14.7000281	13.4750258	12.2500234	11.0250211	9.80001873
13	16.2337383	14.8809267	13.5281152	12.1753037	10.8224922
14	17.8840959	16.3937546	14.9034133	13.4130719	11.9227306
15	19.6563791	18.0183475	16.380316	14.7422844	13.1042528
16	21.5558892	19.7595651	17.963241	16.1669169	14.3705928
17	23.5879414	21.6222796	19.6566178	17.690956	15.7252942
18	25.7578556	23.6113676	21.4648797	19.3183917	17.1719037
19	28.0709474	25.7317018	23.3924562	21.0532106	18.713965
20	30.532519	27.9881424	25.4437658	22.8993893	20.3550127
21	33.1478501	30.3855292	27.6232084	24.8608876	22.0985667

Se han realizado diversos estudios donde se ha determinado el índice de sitio para diferentes especies como *Pinus pseudostrobus* Lindl, *P. patula* y *P. douglasiana* Martínez en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, *P. herrerae* Martínez, en el estado de Michoacán, *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *P.rudis* y *P. ayacahuite* en bosques del Municipio de Arteaga, Coahuila para *P. patula* Schl. et Cham., en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. En estos estudios se han probado diferentes modelos como los son

Logístico, Schumacher, Gompertz, Chapman-Richards, para determinar el IS se utilizó la altura dominante, la metodología empleada fue la de curva guía, generando una familia de curvas anamórficas, la edad base se determinó con la intercepción del ICA y el IMA (Mares, 2003; Morales, 2003; Cortés, 2010; López, 2010).

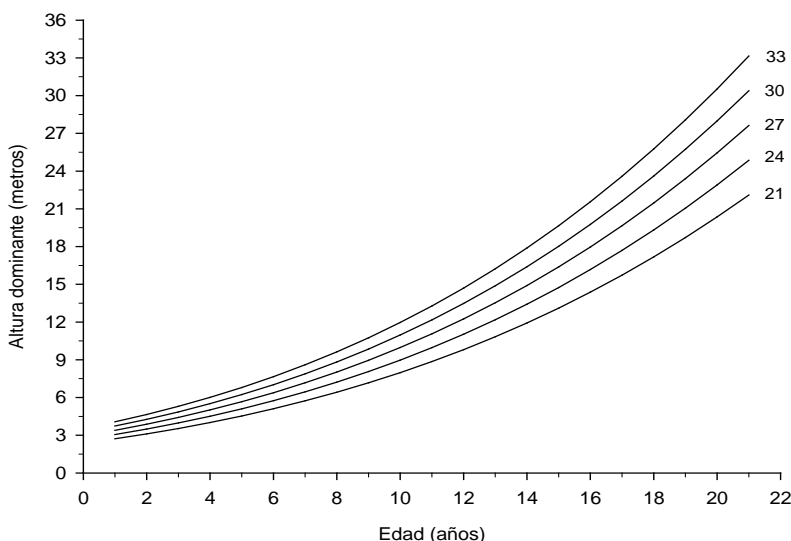


Figura 8. Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata* y *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Edad base= 21 años) En plantaciones de La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca.

De los estudios antes mencionados el que tiene mayor relación con el presente estudio es el realizado por (Cortés, 2010) ya que la determinación del IS se determinó para plantaciones donde se trabajó con la misma especie, además el modelo empleado para la creación de la curva guía es el mismo al igual que el criterio para la elección de la edad base que fue la máxima evaluada, otra similitud más la observamos en la amplitud entre cada índice de sitio construyendo también cinco gráficas de IS, con lo que respecta a los demás estudios la similitud encontrada solamente es la metodología empleada para la determinación del IS ya que los demás estudios han sido realizados en bosques maduros y con diferentes especies.

## 5 CONCLUSIONES

Los tres modelos probados para diámetro y altura presentaron un buen ajuste y la diferencia entre sus estadísticos fue mínima sin embargo el modelo de Weibull fue el que mayor número de ocasiones presentó mejor ajuste

*Pinus patula* var. *longipedunculata* presentó mayor crecimiento tanto en diámetro como altura en comparación con *Pinus pseudostrobus*.

El crecimiento en diámetro y altura presenta un comportamiento ascendente debido a que son plantaciones jóvenes.

Se construyeron cinco curvas anamórficas de índice de sitio con una amplitud de tres metros entre cada curva a una edad base de 21 años.

## 6 RECOMENDACIONES

Monitorear y aumentar los sitios permanentes de muestreo en las plantaciones en diferentes edades y especies, para ampliar la base de datos y nos sirva para cotejar la confiabilidad de los resultados que de una mejor estimación de la productividad del sitio.



## 7 LITERATURA CITADA

Archivo municipal, s/a. Información de la Comunidad de La Trinidad Santiago Xiacuí, Ixtlán Oaxaca.

Agroproduce, 2007. Información del sector forestal en el estado de Oaxaca. Fundación produce Oaxaca, A.C. Oaxaca de Juárez Oaxaca México. 36 p.

Alfaro M., y M. Hidalgo. 2005. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina. Informe subregional Centroamérica y México. Departamento forestal Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma Italia. 125 p.

Álvarez-Icaza L. y J L., V. Salinas, 2007. La construcción Del modelo de plantaciones forestales. Instituto Nacional de Ecología. Delegación Coyoacán, México D.F. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 20 de enero 2012 Archivo disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetas/275/construcción.html>

Amplafor, 2010. Cultivando madera para el México del futuro, Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, Tabasco. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012. Archivo disponible en: <http://www.ameplanfor.com/>

Arita H., T. G Rodríguez, 2004. Patrones geográficos de diversidad de los mamíferos terrestres de América del Norte. Instituto de Ecología, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO proyecto Q068. México, D.F Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 02 de febrero 2012. Archivo disponible en: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/website/mamiferos/catTax.htm>

Caballero D., M. 2000. La actividad forestal en México. Tomo 1ª edición. Universidad Autónoma Chapingo México, México, D.F. 275 p.

Carrasco H., V. 2010. Aspectos ecofisiológicos de la raíz de *Pinus pseudostrobus* y *P. patula* y especies ectomicorrízicas comestibles de *Hebeloma spp.* y *Laccaria spp.* Tesis Maestría Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco, Estado de México. 89 p.

- Carrero O., M. Jerez., R. Maccchiavelli., O. Giampaolo., y J. Stock 2008. Ajuste de curvas de Índice de sitio mediante modelos mixtos para plantaciones de *Eucalyptus urophylla* en Venezuela. INTERCIENCIA. 33 (4): 265-272.
- Casal, J. y E. Matéu 2003. Tipos de muestreo. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, Barcelona. Revista de Epidemiología y Medicina Preventiva. 1: 3-7.
- Castellanos B. J.F., E.J. Treviño., G. O. Aguirre. J Jiménez., M Musalem.,S y R López., A. 2008. Estructura de bosques de *Pinus patula* bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Madera y Bosques.14 (2):51-63.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000. Servicio meteorológico Nacional, Normas climatológicas 1971-2000. Estación: 00020181 vivero rancho Texas, Datos meteorológicos para el estado de Oaxaca (consulta en línea) 31 de enero del 2012) disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/index.php>.
- Comisión Nacional Forestal, 2008. Manual para la verificación de la propuesta técnica forestal y ambiental de los beneficiarios de plantaciones (aspectos técnicos). Coordinación general de producción y productividad, gerencia de desarrollo de plantaciones forestales comerciales. 26 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012. Archivo disponible en:[http:// www. Conafor .gob.mx:8080/documentos/docs/6/1564Metodolog% c3% ada% 20 para% 20 realizar % 20 y% 20 presentar% 20 % 20 informes% 20 ISI.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/1564Metodolog%c3%ada%20para%20realizar%20y%20presentar%20%20informes%20ISI.pdf)
- Comisión Nacional Forestal, 2010. Presenta FAO conclusiones de la evaluación de los bosques del mundo 2010. Unidad de Comunicación Social B006-2010 Zapopan, Jalisco. 2 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012. Archivo disponible en: [http:// www.conafor.gob.mx: 8080/documentos/docs/7/310 Presenta% 20 FAO% 20 cifras% 20 de% 20 bosques% 20 del% 20 mundo.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/310Presenta%20FAO%20cifras%20de%20bosques%20del%20mundo.pdf)
- Comisión Nacional Forestal, 2011. Contenido del proyecto para solicitar apoyos para el establecimiento de plantaciones para la producción de semillas forestales. Gerencia de desarrollo de plantaciones forestales comerciales. 8 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012. Archivo disponible en: [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/1471Contenido% 20 Apoyos% 20 para% 20 el% 20 establecimiento% 20 de% 20 plantaciones% 20 para% 20 la% 20 prod ucci% 3% b3n% 20 de% 20 semillas% 20 forestales.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/1471Contenido%20Apoyos%20para%20el%20establecimiento%20de%20plantaciones%20para%20la%20producci%3%b3n%20de%20semillas%20forestales.pdf)
- Corral R., S, 1999. Tecnologías matemáticas para el desarrollo de modelos de crecimiento de bosques mixtos e irregulares de Durango México. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Nuevo León. Linares Nuevo León. 132 p.

- Corral R., S y J.J Navar., C. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11 (1): 29-47
- Cortés M., J.P., 2010. Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Coahuila, México. 73 p.
- De La Cruz F., M.A. 2010. Estudio epidométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. En el CAESA, Los Lirios, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narros, Buenavista, Saltillo Coahuila México. 45 p.
- Farjón, A., J.A. Pérez de la Rosa and T. B. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. Royal Botanic Gardens, Kew- University of Oxford. 151 p.
- FAO. 2000. Comisión forestal para América del Norte. Situación de la actividad forestal en México, nota informativa 20ª reunión. St. Andrews, New Brunswick, Canadá. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 20 de enero 2012 Archivo disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/X4702S.htm>
- Gadow, K., V. A. Rojo. A., J.G Álvarez,, G., y R Rodríguez., S.,1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela, España. Agr.: Sistema. Recursos. Forestales, Fuera de Serie nº 1. 300-310 p.
- Gadow V., K. O. Sánchez S. y C. Aguirre A.O. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y bosques*.10(2);3-16.
- Galán L, R. 2007. Crecimiento y rendimiento maderable de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.
- García V., O, 1968. Problemas y Modelos en el manejo de plantaciones forestales. Tesis profesional. Universidad de Chile, departamento de manejo y economía forestal. Santiago de Chile 59 p.
- García V., O. 1970. Índices de sitio para Pino insigne en Chile. Instituto Forestal Santiago-Chile. Publicación No. 2. Belgrado 11 Santiago-Chile 29 p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), México 18 D. F. 213 p.

- Gillespie A., J.R.1992.*Pinus patula* Schiede and Deppe Patula Pine. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.New Orleans, LA: U.S. 6 p.
- Google Hearth, 2011. US Dept of state Geographer Inav/Geosistemas, SRL. Data SIO, NOAA, U.S. Navy. NGA, GEBCO.
- Gutiérrez P., A, 1989. Forestal Conservacionismo y desarrollo del recurso forestal , El universo biológico. 1ª edición. Av. Río Churubusco Col. Pedro María Anaya, México D.F. 104-115 p.
- Hernández L., I. 2003. Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 69 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1984a. Uso del suelo y Vegetación. Oaxaca E14-9 escala 1:250, 000.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1984b. Carta Hidrología de aguas Superficiales. Oaxaca E14-9 escala 1:250, 000.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1984c. Carta Hidrología de aguas Subterráneas. Oaxaca E14-9 escala 1:250, 000.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Santiago Xiacuí, Oaxaca. Clave geoestadística 20496. 9 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 25 de enero 2012. Archivo disponible en:p. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20496.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2007. Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente datos nacionales México D.F. 21 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012. Archivo disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2007/ambiente07.pdf>.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales 2ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 365 p.
- Llerena C. M., R. Hermoza, M., y L Llerena.,M. 2007. Plantaciones forestales, agua y gestión de cuencas. 32 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012 Archivo disponible en: <http://www.cepes.org.pe/debate/debate42/03-lllerena.pdf>

- López H., J. A y A.G. Valles., G, 2009. Modelos para la estimación del índice de sitio para *pinus durangensis* martínez en San Dimas, Durango. *Ciencia Forestal en México*. 34 (105):187-194.
- López H., E.N., 2010. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham., En Santiago Comaltepec, Ixtlán; Oaxaca. Tesis profesional. Chapingo, México. 60 p.
- Manzanero, M. y G. Pinelo, 2004. Plan silvicultural en unidades de manejo forestal, Reserva de la biosfera maya, Petén, Guatemala. Serie Técnica No. 3 Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). San Francisco de Dos Ríos Costa Rica. 48 p.
- Mares A., O. 2003. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 98 p.
- Montero M., M, H De Los Santos., P. y M Kanninen. 2007. *Hyeronima alchorneoides* Ecología y silvicultura en Costa Rica Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE Departamento de Recursos Naturales y Ambiente Turrialba, Costa Rica. Nota técnica Serie técnica. Informe técnico No. 354. 50 p.
- Mora V., y F. Meza, 2007. Comparación del crecimiento en altura de la Teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica con otros trabajos previos y con otras regiones del mundo. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional. Costa Rica, 22 p. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 30 de enero 2012. Archivo disponible en: [http:// www.una.ac.cr /inis/docs/ teca/ temas/ ComparaCrecTeca3.pdf](http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/ComparaCrecTeca3.pdf).
- Morales M., E, 2003. Caracterización dasométrica y productividad de los bosques del predio El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coahuila. 54 p.
- Moscovich A.,F, 2004. Modelos de crecimiento y producción forestal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo. Informe Técnico N° 55. Montecarlo Misiones Argentina. 42 p.
- Olate C., S V, 2007 Análisis de curvas de índice de sitio/altura dominante para un bosque siempreverde de *Nothofagus dombeyi*(Mirb.), en Valle Mirta, XI Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del campo. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Tesis profesional. Valdivia, Chile.
- Palmberg-Lerche C. 1998. El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético. Servicio de desarrollo de los recursos forestales. FAO. Roma Italia. 13p.
- Palmberg-Lerche C., P. Aarup I, y P Sigaud. 2001. Datos mundiales sobre los recursos de plantaciones forestales Recursos Genéticos Forestales N° 29 FAO, Roma,

Italia. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 20 de enero 2012 Archivo disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y2316s/y2316s00.htm>.

Perry J. P., Jr. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231p.

Rodríguez O., G. 2010. Efecto de aclareos en el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. En Ixtlán Oaxaca. Tesis doctoral Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 149 p.

Sánchez M., A.E. M.J. Gonzáles., D.H Del Valle., P. y J.R Valdez., L 2006. SIPLAN: Sistema de información para administrar plantaciones comerciales en México. Madera y Bosques. 12; 77-90.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 2006. La gestión ambiental en México. Edición electrónica (en línea) fecha de consulta, 04 de diciembre 2009 Archivo disponible en: [http:// www.Gestión ambiental.com.mx /home.htm](http://www.GestiónAmbiental.com.mx/home.htm)

Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1981. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Carta Geológica escala 1:1, 000,000

SmartWood, 2002. Resumen público de certificación de Unión de comunidades Productores Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra de Juárez de R.I. (UZACHI). RainforestAllianc, 665 Broadway Street, 5th Floor New York, New York 10012 USA. 48 p.

Torres-Rojo M., J. 2001. Curvas de índice de sitio de forma y escala variables en investigación forestal. Agrociencia 35: 87-98.

Trujillo N., E. 2003. Plantación Forestal: planeación para el éxito, forestal. Primer seminario de plantaciones forestales, 7 p.

Unión de comunidades productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de R.I. (UZACHI). 2002. Programa de manejo forestal persistente para el aprovechamiento maderable de la comunidad La Trinidad Ixtlán Oaxaca. Dirección técnica Forestal UZACHI, Capulálpam de Méndez Ixtlán Oaxaca 105 p.

Vargas L., B. J Corral., R. F Cruz., C. O Aguirre., C y J. Nagel. 2008. Uso y aplicación de los simuladores de crecimiento forestal en la toma de decisiones silviculturales. Revista Forestal Latinoamericana,. 23(2):33-52.

Zepeda B., E. M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índices de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal 9 (51):3-38.

## APÉNDICE

Apéndice 1. Parámetros estimados para el diámetro promedio de *Pinus Patula* Schlecht et Cham. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$R^2$ Ajustada	CME
Schumacher modificado por Korf	-2.2891	-2.4610	-0.2697	0.9950	0.9929	1.9925
Chapman-Richards	34.2438	0.0283	4.2676	0.9949	0.9928	2.0279
Weibull	-17.8100	-0.0442	1.0002	0.9951	0.9930	1.9756

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = coeficiente de regresión; CME= cuadrado medio del error;  $R^2$  y  $R^2$  ajustada= coeficiente de determinación

Apéndice 2. Parámetros estimados para el diámetro promedio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$R^2$ Ajustada	CME
Schumacher modificado por Korf	-29.7100	-27.8355	-0.0553	0.9822	0.97466	5.3003
Chapman-Richards	16.0875	0.0424	5.2632	0.9822	0.97459	5.3145
Weibull	-152.3	-0.00085	1.7084	0.9822	0.97467	5.2982

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = coeficiente de regresión; CME= cuadrado medio del error;  $R^2$  y  $R^2$  y  $R^2$  ajustada= coeficiente de determinación

Apéndice 3. Parámetros estimados para la altura promedio de *Pinus Patula* Schlecht et Cham. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$R^2$ Ajustada	CME
Schumacher modificado por Korf	2.7462	0.1452	0.6989	0.9971	0.9963	0.6336
Chapman-Richards	252.6	0.0113	7.0527	0.9975	0.99650	0.6139
Weibull	0.5767	-0.7451	0.5214	0.9976	0.99659	0.5980

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = coeficiente de regresión; CME= cuadrado medio del error;  $R^2$  y  $R^2$  y  $R^2$  ajustada= coeficiente de determinación



Apéndice 4. Parámetros estimados para la altura promedio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$R^2$ Ajustada	CME
Schumacher modificado por Korf	1.7993	0.1771	0.7000	0.9787	0.9734	4.4213
Chapman-Richards	20.1671	0.0355	5.6278	0.9817	0.9738	4.3552
Weibull	-40.6964	0.00296	1.6534	0.9820	0.9743	4.2746

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = coeficiente de regresión; CME= cuadrado medio del error;  $R^2$  y  $R^2$  ajustada = coeficiente de determinación

Apéndice 5. Parámetros estimados para la altura Dominante de *Pinus Patula* Schlecht et Cham. En La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$R^2$ Ajustada	CME
Schumacher modificado por Korf	3.9941	0.0934	1.0000	0.9919	0.9898	2.8751
Chapman-Richards	329.9	0.0103	6.8032	0.9922	0.9888	3.1534
Weibull	0.9367	-0.6779	0.5253	0.9922	0.9889	3.1267

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = coeficiente de regresión; CME= cuadrado medio del error;  $R^2$  y  $R^2$  ajustada = coeficiente de determinación

Apéndice 6. Parámetros estimados para la altura Dominante de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en La Trinidad, Santiago Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca

Modelo	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$R^2$ Ajustada	CME
Schumacher modificado por Korf	2.3448	0.1667	0.6989	0.9755	0.9694	6.6928
Chapman-Richards	18.8716	0.0393	5.2123	0.9788	0.9698	6.6028
Weibull	-85.1121	-0.00186	1.6305	0.9789	0.9699	6.5846

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = coeficiente de regresión; CME= cuadrado medio del error;  $R^2$  y  $R^2$  ajustada = coeficiente de determinación

Apéndice 7. Fotografías de las plantaciones evaluadas en La Trinidad, Ixtlán, Oaxaca.



Plantaciones los pozos



Plantaciones la cueva del Chaguiro



Plantaciones loma del jabalí



Árboles testigos

Apéndice 8. Identificación del arbolado que se encuentra dentro de los sitios muestreados.



Color azul para hojosas



Color amarillo para *Pinus*

Apéndice 9. Actividades realizadas durante el establecimiento de las parcelas permanentes.



Etiqueta de identificación



Colocación de la etiqueta

Enumeración de cada uno de los individuos que se encuentran dentro del sitio para su posterior identificación.



Estimación de edades



Delimitación de la parcela permanente.